

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resin akrilik telah digunakan dalam bidang kedokteran gigi sejak tahun 1946. Saat ini, sekitar 98% dari semua basis gigi tiruan dibuat menggunakan polimer atau kopolimer metil metakrilat. Polimer metil metakrilat murni bersifat transparan, tidak berwarna, dan padat dan memenuhi faktor estetik di bidang kedokteran gigi dengan menyerupai warna jaringan alami rongga mulut. Resin akrilik memiliki peran penting dalam pembuatan gigi tiruan lepasan, reparasi gigi tiruan, mahkota sementara dan prostesis maksilofasial yang berfungsi untuk menggantikan struktur rongga mulut atau bagian wajah yang hilang. (Arenas-Arrocena et al., 2017; Kostić et al., 2022; Utama et al., 2020)

Restorasi mahkota adalah prosedur prostodontik yang bertujuan untuk memulihkan bentuk, fungsi dan estetika gigi yang rusak akibat karies, fraktur, kegagalan restorasi besar, atau kondisi patologis lainnya. Penggunaan mahkota akrilik semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi material gigi tiruan. Mahkota resin akrilik polimerisasi panas memiliki kelebihan seperti tidak beracun, mudah dimanipulasi, tidak larut dalam cairan mulut, serta harga yang terjangkau. Tetapi, mahkota akrilik juga memiliki kekurangan, seperti kekuatan impak, transversal, *flexural strength* dan abrasi yang rendah sehingga menyebabkan retak dan patah akibat tekanan saat pengunyahan. penelitian ini berfokus pada pengembangan mahkota akrilik untuk mengatasi kelemahannya dengan harapan dapat mengubah persepsinya dari sekadar mahkota sementara menjadi alternatif restorasi tetap yang layak dan tahan lama dapat menggantikan mahkota defenitif barbahan porselen yang memiliki harga yang cukup tinggi. (Agustín-Panadero et al., 2019)

Restorasi mahkota harus dibuat menggunakan material yang mampu menahan beban oklusa, terutama di daerah posterior rongga mulut. Gaya oklusal di daerah posterior dilaporkan berkisar antara 400–650 N pada wanita dan 490–800 N pada pria. (Alsarani, 2023) Oleh karena itu, diperlukan material yang memiliki sifat mekanik yang baik agar tidak mengalami kerusakan selama berada dalam mulut. (Heboyan et al., 2023)

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik resin akrilik, termasuk penambahan bahan penguat menjadi solusi yang efektif, seperti penggunaan bahan kimia *cross-linking-agent*, *rubber particle*, dan filler kimia. Salah satu penemuan terbaru dalam bidang prostodonsia adalah penggunaan nanoteknologi, khususnya dengan menambahkan pengisi (filler) dan serat berukuran mikro atau nano ke dalam bahan PMMA untuk mengatasi masalah fraktur pada gigi tiruan. (Mohammadzadeh et al., 2024; Sharip et al., 2020)



Penambahan serat alami seperti selulosa dilaporkan menjadi sebuah pendekatan memperkuat polimer karena serat alami merupakan sumber yang murah yang rendah, biopolimer melimpah di alam. Nanoselulosa tersusun dari selulosa dengan ukuran nano. Sifat unik nanoselulosa yang tinggi, kekuatan mekanik dan kekuatan tarik yang tinggi, nanoselulosa telah dilaporkan mencapai sekitar 150 GPa pada arah tarik 18–50 GPa pada arah transversal dapat digunakan sebagai

bahan penguat untuk berbagai bahan polimer, komposit dan termoplastik, kemampuan membentuk ikatan hidrogen, biokompatibel karena berasal dari selulosa alami, bahan ini tidak beracun dan tidak menimbulkan respons imun yang signifikan saat digunakan. Sifat ini sangat penting untuk bahan dental yang harus aman untuk penggunaan jangka panjang di dalam tubuh manusia. (Kawaguchi et al., 2020; Thomas et al., 2018)

Kelompok hidroksil yang melimpah dan dikombinasikan dengan luas permukaan yang tinggi berskala nano, memungkinkan modifikasi kimia yang ekstensif untuk memperkenalkan berbagai kelompok fungsional. Oleh karena itu, nanoselulosa dapat dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan kompatibilitasnya dengan bahan lain dan menempel pada kelompok zat polar. Nanoselulosa saat ini digunakan dalam berbagai produk, termasuk alat medis, tekstil, bahan restorative. Penggunaan serat alami terbarukan sebagai penguat dalam bahan komposit telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Plastik yang diperkuat dengan bahan selulosa sebagai pengisi memiliki biaya rendah, ringan, dan aman, serta memiliki sifat mekanik lebih baik. (Aupaphong et al., 2022)

Indonesia merupakan salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia. Limbah kelapa sawit yang dihasilkan dalam jumlah besar mencapai 70-80 juta ton per tahun. Di pabrik kelapa sawit, minyak kelapa sawit hanya menyumbang sekitar 10% dari total biomassa, sementara sisa 90% yang berupa limbah, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut kelapa sawit (SKS), dan pelepah sering dibuang atau tidak dimanfaatkan dengan optimal. Saat ini jumlah limbah yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit masih sangat besar, mengancam lingkungan di banyak negara termasuk Indonesia. Untuk mengatasi masalah ini, limbah kelapa sawit seperti TKKS telah mulai didaur ulang untuk berbagai aplikasi. TKKS mengandung serat lignoselulosa yang terdiri 26–63% selulosa, 14,6–37% hemiselulosa, dan 17–31,7% lignin. Kandungan selulosa yang cukup tinggi sehingga menjadikannya sumber yang potensial untuk ekstraksi nanoselulosa. (Lim et al., 2022; Mahardika et al., 2024; Oksman et al., 2016; Padzil et al., 2020)

Nanoselulosa yang diekstraksi dari serat TKKS telah terbukti memiliki berbagai aplikasi, terutama dalam bidang biomedis, farmasi, teknologi membran, dan aplikasi lainnya. Bentuk nanoselulosa seperti selulosa nanokristal (CNC), selulosa nanofiber (CNF), dan selulosa nanofibrilasi (NFC), yang masing-masing memiliki karakteristik mekanik yang luar biasa, biokompatibilitas, dan sifat fungsionalisasi permukaan yang sangat baik. (Babu et al., 2023; Halib et al., 2017) Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh John et al. yang menyimpulkan nanoselulosa dari TKKS dapat dianggap sebagai alternatif yang layak untuk memperkuat resin PMMA. Penelitian tersebut menyatakan bahwa penambahan serat alami tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan penguat telah terbukti meningkatkan sifat kekuatan lentur dan modulus dari bahan gigi PMMA. (John et al., 2015)



aplikasi nanoselulosa adalah sebagai bahan pengisi (filler) pada , seperti *glass ionomer cement* (GIC), yang sering digunakan dalam atif. Penelitian yang dilakukan oleh Silva et al (2016) menunjukkan nanoselulosa dalam GIC dapat meningkatkan kekuatan mekanik iatan tekan, kekuatan tarik diametris, dan modulus elastis yang memastikan daya tahan material tersebut dalam berbagai aplikasi

klinis. Selain itu, nanoselulosa juga memiliki potensi besar untuk digunakan dalam penguatan bahan dasar gigi tiruan, seperti pada resin polimerisasi panas (PMMA) yang dibutuhkan untuk memenuhi tuntutan kekuatan mekanik yang lebih tinggi terhadap beban oklusal sehingga menghasilkan material yang lebih kuat dan tahan lama. (Silva et al., 2016) Penelitian lain yang dilakukan oleh Hasran et al (2021) menyimpulkan bahwa penambahan nanoselulosa sekam padi pada basis gigi tiruan polimetil metakrilat (PMMA) meningkatkan *impact strength*. Peningkatan ini signifikan pada berbagai konsentrasi dengan *impact strength* tertinggi diamati pada penambahan nanoselulosa 5%. (Hasran et al., 2021) Penelitian yang dilakukan oleh Ali et al (2019) menyimpulkan penambahan *microcrystalline cellulose* (MCC) yang berasal dari TKKS ke PMMA secara signifikan dapat meningkatkan *flexural strength* dan *flexural modulus* pada basis polimetil metakrilat (PMMA) dengan penambahan nanoselulosa 5% dan diikuti dengan penambahan 2% dibandingkan resin akrilik konvensional. Penambahan MCC dari TKKS dapat menjadi alternatif yang layak untuk resin PMMA yang diperkuat serat sintetis yang tersedia secara komersial. (Ali et al., 2020)

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa nanoselulosa yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pengembangan material. Namun, penerapannya dalam bidang kedokteran gigi khususnya untuk meningkatkan sifat mekanik resin akrilik masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian *in-vitro* ini bertujuan mengeksplorasi potensi nanoselulosa TKKS dalam meningkatkan *fracture strength* pada restorasi mahkota resin akrilik polimerisasi panas. Harapannya dapat mengembangkan material restoratif yang lebih kuat dan tahan lama, menawarkan solusi restorasi definitif yang ekonomis, memanfaatkan sumber daya lokal berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada material impor yang mahal seperti mahkota berbahan zirkonia dan PFM. Diharapkan inovasi ini dapat memberikan alternatif restorasi yang terjangkau bagi pasien dengan kemampuan ekonomi terbatas, sekaligus berkontribusi pada pengelolaan limbah kelapa sawit yang lebih berkelanjutan.

1.2 Teori

1.2.1 Akrilik dalam kedokteran gigi

Pada tahun 1940-an, poli (metil metakrilat) PMMA atau akrilik menjadi bahan pilihan untuk sekitar 60% protesa gigi tiruan yang dibuat di pasar Amerika. Meskipun sudah diperkenalkan ke dalam dunia kedokteran gigi hampir seabad yang lalu, polimer akrilat masih dianggap tak tergantikan dalam bidang aplikasinya. Polimer akrilat adalah bahan transparan yang dapat dengan mudah dimanipulasi, dan dapat meniru gigi, gingiva dengan baik. Resin PMMA memiliki beberapa kekurangan seperti polimerisasi *shrinkage*, *weak flexural*, *impact strength*, dan *fatigue resistance* yang rendah (Alqutaibi et al., 2023; Raszewski et al., 2021). Oleh karena itu, ada beberapa metode modifikasi untuk

fat resin PMMA seperti:

1. Penambahan polikarbonat dan poliamida sebagai pengganti PMMA.

2. Modifikasi PMMA dengan penambahan kopolimer, *cross-linking agents* seperti *butadiene styrenet*.

3. Penambahan serat fiber, logam atau keramik ke dalam basis gigi tiruan yang akan mengisi.



Dengan penambahan bahan pengisi untuk memperkuat PMMA dianggap sebagai metode yang paling hemat biaya. Salah satu bahan pengisi yaitu nanoselulosa dari bahan alami seperti dari tandan kosong kelapa sawit. Bahan yang potensial untuk digunakan sebagai penguat material akrilik adalah nanoselulosa. Nanoselulosa merupakan material berbasis selulosa yang memiliki ukuran partikel dalam skala nano, sehingga memberikan sifat mekanik yang unggul, seperti kekuatan tarik yang tinggi, ringan, dan *biodegradable*. (Raszewski et al., 2021)

1.2.2 Komposisi akrilik

Menurut komposisinya, PMMA (nama IUPAC: poli [1-(metoksi karbonil)-1-metil etilena]) adalah polimer sintesis yang dibuat dengan penambahan radikal bebas dan polimerisasi metil metakrilat (C₅O₂H₈) menjadi poli metil metakrilat (C₅O₂H₈). Reaksi polimerisasi dimulai dengan pembentukan radikal bebas secara kimiawi atau dengan panas, gelombang mikro, atau energi cahaya. Fase propagasi melibatkan pengikatan monomer, diikuti oleh fase terminasi dan penyelesaian rantai polimer oleh reaksi monomer dan radikal bebas. PMMA secara konvensional tersedia dalam bentuk *powder* yang memiliki ukuran partikel 10-40 µm dan *liquid*. Komposisi bahan pada tabel 1.1. (Raszewski et al., 2021)

Tabel 1.1 Komposisi *powder* dan *liquid* bahan akrilik konvensional

<i>Liquid</i> (Monomer)	<i>Powder</i> (Polymer)
MMA	PMMA, PEMA, PBuMA
<i>Polymerization inhibitor</i> (0.006% hydroquinone or methoxy phenol)	<i>Polymerization initiator</i> (0.2 to 1.5% dibenzoyl peroxide)
<i>Polymerization crosslinker</i> (EGDMA, TMPT, 1.4-BDMA, 1.6-HDMA)	<i>Plasticizers</i> (dibutyl-, diethyl- and dicyclohexyl phthalate)
<i>Polymerization accelerator</i> (N,N dimethyl-p-toluidine, tertiary amines, sulfuric acid)	Warna pigmen

Sumber : Kostić M, Igić M, Gligorićević N, Nikolić V, Stošić N, Nikolić L. 2022. The Use of Acrylate Polymers in Dentistry. *Polymers* (Basel). 14(21):4511. doi:10.3390/polym14214511.

1.2.3 Jenis resin akrilik berdasarkan aktivasi polimerisasi

a. Resin akrilik *heat cured*

Bahan PMMA *heat cured* reaksi polimerisasi dimulai pada saat pencampuran kedua komponen *liquid* dan *powder* yang membutuhkan energi panas seperti pemanasan air untuk mengaktifkan inisiator. Bahan-bahan ini mengandung benzoil peroksida sebagai inisiator, yang terdisosiasi menjadi karbon dioksida (CO₂), menghasilkan



da saat pemanasan. Tingkat polimerisasi yang tinggi menghasilkan baik. Namun, polimerisasi dan adaptasi yang buruk tetap menjadi . *Heat cure* melibatkan waktu *curing* lebih lama (~ 9 jam pada suhu alternatif, PMMA yang dipolimerisasi *heat cure* membutuhkan waktu 1 lebih singkat (20 menit pada suhu 100 °C). Proses polimerisasi g terakhir dipercepat karena adanya panas dan inisiator yang a kimiawi dalam komposisi. Tujuan utama dari siklus pemanasan

adalah untuk mencapai tingkat polimerisasi yang tinggi dan mengurangi monomer residu dalam protesa. (Zafar, 2020)

b. Resin akrilik *cold cured*

PMMA *cold cured* (juga dikenal sebagai PMMA dipolimerisasi secara kimiawi atau *auto-polymerizing* PMMA) memiliki komposisi dan mekanisme polimerisasi yang berbeda dengan PMMA *heat cured* dan tidak memerlukan energi panas. Inisiator amina tersier seperti dimetil-p-toluidine ditambahkan ke PMMA polimerisasi *cold cured*, yang mengaktifkan benzil peroksida secara kimiawi menghasilkan radikal bebas untuk memulai polimerisasi. Namun, tingkat polimerisasi PMMA *cold cured* jauh lebih rendah daripada PMMA *heat cured*, meninggalkan monomer residu. Dibandingkan dengan PMMA *heat cured*, keuntungan utama dari PMMA *cold cured* termasuk stabilitas dan adaptasi dimensi yang lebih baik, menghasilkan penyusutan polimerisasi kecil. Namun tingkat polimerisasi yang lebih rendah dapat melemahkan sifat mekanik, seperti kekuatan dan kekerasan. Adanya residu monomer dan sifat mekanik yang lebih rendah, inisiator amina teroksidasi dengan waktu, menghasilkan perubahan warna. keterbatasan PMMA *cold cure* hanya digunakan untuk membuat *costum tray* dan gigi tiruan parsial sementara dan untuk perbaikan gigi tiruan. Baru-baru ini, Alqahtani, memodifikasi *cold-cured* PMMA untuk meningkatkan sifat mekanik. Penambahan bubuk nano boron nitrida heksagonal meningkatkan modulus elastisitas dan kekuatan lentur, sementara penambahan zirkonia (ZrO_2) meningkatkan kekerasan permukaan. Namun, Karena adanya jumlah yang lebih besar dari monomer sisa dan panas yang dihasilkan dari polimerisasi eksotermis, bahan PMMA *cold cured* tidak dipertimbangkan untuk aplikasi dalam mulut jangka panjang. (Zafar, 2020)

c. Resin akrilik *light-cured*

PMMA *light cured* (*visible-light-cured*) cara kerja hampir sama dengan restorasi resin komposit. PMMA dimodifikasi dengan mengganti inisiator konvensional dengan agen yang peka terhadap Cahaya (camphorquinone), yang diaktifkan dan menghasilkan radikal bebas saat terpapar cahaya. Bahan PMMA *light cured* mengandung pengisi PMMA, silika, matriks dimetakrilat uretan, dan monomer resin akrilik. polimerisasi PMMA secara sempurna, bahan-bahan tersebut harus terpapar cahaya tampak selama durasi waktu yang diperlukan setelah adaptasi pada gips dan penempatan gigi. Setelah polimerisasi, PMMA *light cured* dipoles dengan cara yang sama seperti PMMA *heat cured*. PMMA *light cured* memiliki keunggulan fabrikasi yang lebih mudah dan dapat dikontrol, memberikan waktu yang cukup untuk manipulasi dan adaptasi sebelum memulai polimerisasi. Selain itu, penyusutan polimerisasi, keberadaan monomer residu, dan adhesi bakteri berkurang dibandingkan dengan bahan PMMA *heat cured* dan *cold cured*. Namun, *light cured* tidak digunakan secara umum karena kekurangannya, *light curing* yang terbatas, teknik, dan biaya. Sifat mekanik dari bahan *light cured* sedikit lebih rendah daripada PMMA konvensional dan oleh karena itu penggunaannya terbatas. (Zafar, 2020)



akrilik dapat disesuaikan dengan warna gigi asli pasien, memberikan hasil yang alami dan tidak mencolok. (Kapusevska et al., 2013)

1.2.6 Sifat Resin Akrilik Polimerisasi Panas

Beberapa sifat unggulan dari resin akrilik polimerisasi panas antara lain (Zafar, 2020):

- Kekuatan Mekanik:** Resin ini memiliki kekuatan tarik dan kekuatan tekuk yang memadai untuk aplikasi restorasi gigi sementara.
- Estetika:** Resin akrilik memiliki kemampuan untuk menyerupai warna gigi alami, sehingga sangat cocok untuk restorasi sementara yang memerlukan estetika tinggi.
- Keterjangkauan:** Dibandingkan dengan material lainnya, resin akrilik relatif murah dan mudah diakses, menjadikannya pilihan yang ekonomis dalam praktek kedokteran gigi.
- Mudah Dibentuk:** Proses pembuatan dan reparasi dengan resin akrilik cukup mudah, memungkinkan ahli gigi untuk melakukan modifikasi dengan cepat.

Kelemahan Resin Akrilik Polimerisasi Panas (Zafar, 2020):

Walaupun memiliki banyak keunggulan, resin akrilik polimerisasi panas juga memiliki kekurangan, di antaranya:

- Kerentanannya terhadap Patah:** Resin akrilik rentan patah jika terjatuh atau terkena beban besar. Hal ini menjadi kekhawatiran dalam aplikasi yang memerlukan daya tahan tinggi.
- Penyerap Air dan Cairan:** Resin ini dapat menyerap air dan cairan, yang dapat mempengaruhi kestabilan warna dan sifat mekaniknya dalam jangka panjang.
- Tahan Terhadap Abrasi yang Kurang:** Resin akrilik memiliki ketahanan abrasi yang terbatas, yang membuatnya lebih rentan terhadap kerusakan akibat gesekan dengan gigi atau bahan lainnya.
- Potensi Iritasi:** Beberapa jenis resin akrilik, meskipun jarang, dapat menyebabkan iritasi pada jaringan lunak mulut pada beberapa individu yang sensitif terhadap bahan kimia tertentu. (Zafar, 2020)

1.2.7 Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) adalah tanaman tropis yang berasal dari Afrika Barat dan kini menjadi salah satu komoditas pertanian utama di negara-negara tropis, terutama Indonesia dan Malaysia. Kelapa sawit telah menjadi sumber utama minyak nabati yang digunakan di berbagai sektor industri, termasuk pangan, kosmetik, energi terbarukan, dan banyak lagi. Kelapa sawit dalam Bahasa latin dinamakan *Elaeis Guineensis Jacq.*

Elaeis berasal dari *Elaion*, Bahasa Yunani berarti minyak, *guineensis* berasal dari kata *Guinea* yaitu Pantai Barat Afrika. Klasifikasi tanaman kelapa sawit menurut



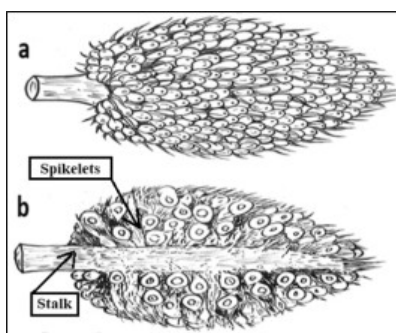
kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) Kingdom: Plantae, Divisio: bdivisio: Angiospermae, Kelas: Monocotyledoneae, Famili: i: Coccoideae, Genus: *Elaeis*, Spesies: *Elaeis guineensis*.

memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik terhadap iklim ang hangat dan curah hujan yang cukup sepanjang tahun. Kelapa n yang memiliki daya hasil tinggi per hektar, sehingga menjadi

pilihan utama bagi para petani dan industri penghasil minyak. Dalam satu hektar lahan kelapa sawit yang ditanam, dapat diproduksi sekitar 4 hingga 5 ton minyak kelapa sawit per tahun, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak nabati lainnya seperti kedelai atau bunga matahari. Hal inilah yang membuat kelapa sawit menjadi tanaman yang sangat menguntungkan dalam jangka Panjang. (Murphy et al., 2021).

1.2.8 Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*)

Industri kelapa sawit menghasilkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dalam jumlah besar sebagai limbah. Komposisi lignoselulosa dalam TKKS memberi potensi aplikasi yang luas. Proses retting setelah pemisahan buah untuk produksi minyak menghasilkan serat TKKS. Tandan kosong ini terdiri dari dua jenis serat, yaitu tangkai (20-25%) dan spikelets (75-80%), seperti terlihat pada Gambar 1. Secara tradisional, pabrik kelapa sawit memanfaatkan TKKS sebagai bahan bakar boiler dan mengubah abunya menjadi pupuk. Namun, sebagian besar TKKS tetap menjadi limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Beberapa aplikasi TKKS meliputi bio-komposit, bio-sugar, kompos, bahan bakar, dan turunan selulosa. (Hidayah, 2017)



Gambar 1.1 (a) Tandan buah kelapa sawit (b) Penampang melintang tandan buah yang menunjukkan susunan serat.

Sumber : Hidayah N. 2017. Potency of Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) in the Medical Field. Proceedings of the 1st Seminar and Workshop on Research and Excellent Education in Mathematics and Science (SMICHS). hlm. 59-64. doi:10.2991/smichs-17.2017.59.

Secara fisik, tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar air sekitar 60% dan kandungan minyak maksimum 2,5% dan 23-35% serat. TKKS rata-rata memiliki berat 3,5 kg dengan ketebalan 130 mm dan Panjang tandan bervariasi antara 170-300 mm serta lebar 250-3500 mm. TKKS terdiri dari spikelet 57,2%, tangkai (dasar tandan) 21,2%, 1% dan komponen lainnya 5%. (Hidayah, 2017)



Kimia tandan kosong kelapa sawit

Kimia dari serat TKKS terdiri dari selulosa 50,9%, hemiselulosa 1,2%, 1,2%. Komponen utama dalam serat TKKS adalah selulosa, diikuti oleh lignin. TKKS memiliki kandungan selulosa yang banyak sehingga bisa menjadi bahan baku untuk produksi berbagai produk berbasis selulosa.

Variasi komposisi kimia disebabkan oleh berbagai faktor seperti umur tanaman asal, umur serat setelah ekstraksi, kondisi permukaan serat, misalnya dinding sel yang terkelupas, kerusakan lapisan, perlakuan permukaan yang digunakan. Selain itu, sebelum pengujian seperti proses pembersihan dan pencucian juga berpengaruh. (Lefatshe et al., 2017; Padzil et al., 2020)

1. Selulosa

Selulosa adalah polisakarida yang merupakan komponen utama dinding sel tanaman. Selulosa terbentuk dari rantai panjang unit glukosa yang terikat melalui ikatan $\beta(1\rightarrow4)$ -glikosidik. Dalam TKKS, selulosa berfungsi memberikan kekuatan struktural pada serat dan memiliki potensi besar untuk diproses lebih lanjut menjadi produk berbasis nanocellulose. Selulosa yang terdapat dalam TKKS memiliki sifat mekanik yang sangat baik, termasuk kekuatan tarik yang tinggi, yang menjadikan bahan baku yang ideal untuk pembuatan komposit dan material lainnya.

2. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polisakarida yang terdiri dari berbagai jenis gula yang lebih pendek dibandingkan dengan selulosa. Hemiselulosa berfungsi sebagai penghubung antara serat selulosa dalam dinding sel tanaman. Dalam TKKS, hemiselulosa berperan penting dalam kelarutan dan sifat fisik lainnya dari material tersebut. Meskipun hemiselulosa tidak memiliki kekuatan mekanik yang setinggi selulosa, ia tetap memberikan kontribusi pada kegunaan serat dalam berbagai aplikasi industri, seperti dalam pembuatan bioenergi dan bahan komposit.

3. Lignin

Lignin adalah senyawa aromatik yang berfungsi untuk memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap degradasi mikroba pada tanaman. Lignin berada di antara serat selulosa dan hemiselulosa dalam dinding sel tanaman. Meskipun lignin tidak memiliki banyak kegunaan dalam produk berbasis selulosa seperti nanocellulose, keberadaannya penting karena memberikan ketahanan terhadap faktor eksternal seperti perubahan suhu dan kelembaban. Dalam proses pemanfaatan TKKS, lignin sering kali harus dihilangkan atau diproses agar tidak mengganggu kualitas produk akhir.

4. Komponen Lainnya

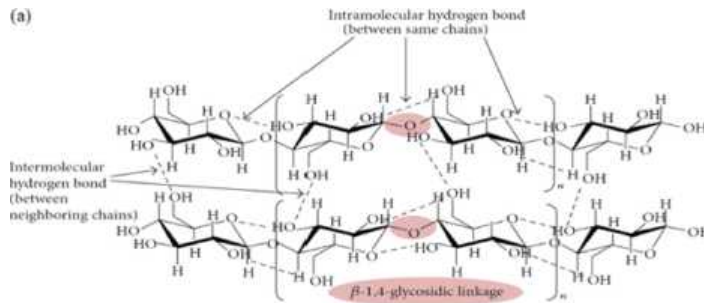
Selain tiga komponen utama di atas, TKKS juga mengandung sejumlah kecil ekstrasi, abu, dan senyawa lain yang dapat mempengaruhi kualitas dan sifat dari material tersebut. Ekstraksi ini termasuk resin, minyak, dan senyawa organik lainnya yang dapat dipisahkan melalui proses pengolahan yang tepat.

1.2.8.2 Selulosa

Selulosa adalah salah satu polisakarida alami yang paling melimpah di Bumi dan merupakan komponen utama dari dinding sel tumbuhan. Selulosa terdiri dari rantai panjang unit glukosa yang terikat satu sama lain melalui ikatan $\beta(1\rightarrow4)$ -glikosidik. Rantai linier dari kelompok hidroksil dan ikatan hidrogen yang kuat, serat memiliki sifat fisik dan mekanik yang unggul, menjadikannya bahan struktural yang ideal untuk tanaman. Selain itu, selulosa memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, membuatnya sangat fleksibel untuk digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Selulosa berfungsi sebagai bahan yang memberikan kekuatan dan



kestabilan pada dinding sel tumbuhan. Setiap rantai selulosa terdiri dari unit glukosa yang tersusun secara berulang dalam ikatan beta, yang memberikan kestabilan dan kekuatan struktural yang diperlukan bagi tanaman untuk bertahan terhadap tekanan mekanik, serta untuk mempertahankan bentuk dan fungsinya (Padzil et al., 2020)



Gambar 1.2 Struktur kimia dari selulosa

Sumber : Phanthong P, Reubroycharoen P, Hao X, Xu G, Abudula A, Guan G. 2018. Nanocellulose: Extraction and application. Carbon Resour Convers. 1(1):32-43. doi:10.1016/j.crcon.2018.05.004.

Struktur selulosa ini membentuk mikrofibril yang berfungsi untuk menjaga integritas dinding sel dan memberikan kekuatan terhadap kekuatan tarik. Selain menjadi komponen utama dinding sel, selulosa juga memiliki sifat yang sangat berguna dalam berbagai industri. Salah satu keunggulan terbesar dari selulosa adalah kemampuannya untuk diubah menjadi bahan lain yang lebih berguna. Proses ini bisa melibatkan pembentukan serat tekstil, kertas, dan berbagai jenis produk biokomposit, serta bahan lainnya. Selain itu, selulosa dapat dimodifikasi lebih lanjut untuk menghasilkan nanoselulosa, yang memiliki potensi luar biasa dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri. Pengolahan selulosa menjadi produk bernilai tinggi seperti biofilm, hidrogels, dan aerogels juga menjadi fokus penelitian terkini, terutama karena sifatnya yang dapat terurai secara biologis dan ramah lingkungan. Hal ini menjadikan selulosa bahan yang sangat relevan dalam pengembangan produk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Secara kimiawi, selulosa memiliki struktur kristalin dan amorf. Struktur kristalin memberikan kestabilan mekanik yang sangat baik, sedangkan bagian amorf memberikan kelembutan dan fleksibilitas karena strukturnya yang kuat. Selulosa sering digunakan dalam pembuatan material komposit yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan yang tinggi, seperti dalam pembuatan bahan bangunan atau material lainnya yang membutuhkan sifat mekanik yang unggul (Lani et al., 2014)



a

adalah bentuk modifikasi dari selulosa yang memiliki ukuran nanometer memiliki diameter kurang dari 100 nm dan panjang

oselulosa :

- a. Sifat Mekanik yang kuat: Nanoselulosa dari TKKS memiliki modulus elastisitas dan kekuatan tarik yang sangat baik, membuatnya ideal sebagai penguat (reinforcing agent) dalam biokomposit. Nanocellulose memiliki kekakuan tinggi hingga 220 GPa modulus elastisitas, yang lebih tinggi daripada serat Kevlar. Nanocellulose memiliki kekuatan tarik hingga 10 GPa
- b. Rasio Aspek Tinggi: Nanofibril yang dihasilkan dari TKKS cenderung memiliki panjang dan rasio aspek (perbandingan panjang dan diameter) yang tinggi. Ini meningkatkan area permukaan dan kemampuan pembentukan jaringan (network) yang kuat dalam matriks komposit atau film.
- c. Biokompatibel dan Dapat Terurai Alami: Seperti nanoselulosa pada umumnya, produk dari TKKS bersifat non-toksik, biokompatibel, dan dapat terurai secara alami, cocok untuk aplikasi medis dan kemasan ramah lingkungan.
- d. Area Permukaan yang luas : proses nanofibrilasi menghasilkan fibril dengan diameter nano meningkatkan area permukaan, sehingga meningkatkan reaktivitas dan kemampuan mengadsorpsi. (Phanthong et al., 2018)

Nanoselulosa dapat dikategorikan menjadi tiga jenis :

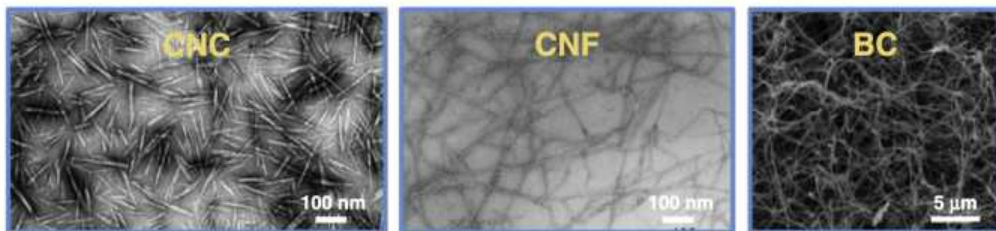
- a. Nanocrystalline selulosa (CNC) juga dikenal sebagai selulosa nanowhiskers, adalah nanoselulosa dengan kekuatan tinggi, yang biasanya diekstraksi dari serat selulosa melalui hidrolisis asam. Memiliki bentuk batang pendek atau bentuk serat dengan diameter 2–20 nm dan panjang 100–500 nm. Selain itu, ia mengandung 100% komposisi kimia selulosa utama di daerah kristalin (kristalinitas tinggi sekitar 54–88%). nanocrystalline selulosa yang dapat diekstraksi dari melalui hidrolisis asam. Bagian amorf dihidrolisis dan dihilangkan oleh asam, sementara bagian kristalin tetap utuh. Dari metode ekstraksi ini, nanocrystalline selulosa memiliki kristalinitas tinggi dengan bentuk batang pendek. (Abitbol et al., 2016; Phanthong et al., 2018)
- b. Nanofibril selulosa (CNF) yang juga dikenal sebagai mikrofibril selulosa, serat nano selulosa, fibril nano selulosa adalah selulosa nano yang panjang, fleksibel, dan dapat diekstraksi dari fibril selulosa melalui metode mekanis. Serat ini memiliki bentuk fibril panjang dengan diameter 1–100 nm dan panjang 500–2000 nm. Selain itu, serat ini mengandung komposisi kimia selulosa 100% dengan daerah kristalin dan amorf. Dibandingkan dengan selulosa nanokristalin, selulosa nanofibril lebih Panjang dan aspek rasio tinggi, luas permukaan tinggi, dan jumlah kelompok hidroksil yang tinggi yang mudah dimodifikasi permukaan. (Phanthong et al., 2018)
- c. Nanoselulosa bakteri (BC) adalah jenis nanoselulosa berbeda dari selulosa kristalin dan nanofibrillated selulose. Nanocellulose kristalin dan nanofibrillated dapat diekstraksi dari biomassa lignoselulosa (proses top-down), tetapi



... bakteri diproduksi melalui akumulasi gula bermolekul rendah oleh *Gluconacetobacter xylinus*, selama beberapa hari hingga dua es bottom-up). Oleh karena itu, nanoselulosa bakteri selalu berada < murni tanpa komponen lain dari biomassa lignoselulosa seperti elulosa, pektin. Nanoselulosa berbentuk wisting ribbons dengan -rata 20–100 nm dan panjang mikrometer dengan luas permukaan per unit volume dan memiliki banyak keunggulan dibandingkan

selulosa tumbuhan, karena memiliki kemurnian tinggi dengan kemampuan permeabilitas yang baik terhadap cairan dan gas, porositas, daya serap air yang tinggi, dan sifat mekanik yang unggul.(Abitbol et al., 2016; Phanthong et al., 2018)

Berdasarkan struktur dan metode isolasinya, nanoselulosa yang paling umum dihasilkan dari TKKS adalah *Nanofibrillated Cellulose* (NFC) atau *Cellulose Nanofiber* (CNF).



Gambar 1.3 Gambaran mikroskop elektron representatif dari tiga jenis nanoselulosa: CNC, CNF, dan BC.

Sumber : Abitbol T, Rivkin A, Cao Y, Nevo Y, Abraham E, Ben-Shalom T, Lapidot S, Shoseyov O. 2016. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Curr Opin Biotechnol.* 39:76-88. doi:10.1016/j.copbio.2016.01.002.

1.2.8.4 Aplikasi nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit

Nanoselulosa yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit memiliki berbagai potensi aplikasi yang sangat luas di berbagai bidang industri, terutama dalam pengembangan material yang ramah lingkungan, biomedis, dan teknologi pengolahan air. Mengingat tingginya kandungan selulosa pada TKKS, nanoselulosa yang dihasilkan menawarkan banyak manfaat dan bernilai ekonomis. Beberapa aplikasi utama dari nanoselulosa TKKS meliputi bidang material komposit, biomedis, dan pengolahan air.(Padzil et al., 2020)

1. Aplikasi dalam Material Komposit

Salah satu aplikasi utama dari nanoselulosa adalah dalam pembuatan material komposit. Nanoselulosa memiliki kekuatan mekanik yang sangat tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam matriks polimer, menghasilkan komposit yang lebih kuat dan ringan. Penambahan nanoselulosa ke dalam matriks polimer dapat meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan terhadap fraktur (*fracture toughness*), dan ketahanan terhadap benturan (*impact strength*). Selain itu, nanoselulosa juga dapat memperbaiki sifat termal dan elektrik dari komposit tersebut. Hal ini sangat berguna dalam pembuatan berbagai produk komposit untuk aplikasi di industri otomotif, konstruksi, dan elektronik, di mana



jan, dan tahan lama sangat dibutuhkan.(Silva et al., 2016)
Nanoselulosa memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan air dan berbasis nanoselulosa juga memiliki potensi dalam pembuatan pangan yang lebih berkelanjutan dan dapat terurai secara biologis. selulosa dapat menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan berbasis plastik konvensional yang sulit terurai.

2. Aplikasi Biomedis

Dalam bidang biomedis, nanoselulosa dari TKKS memiliki potensi besar dalam pembuatan bahan medis seperti scaffold untuk rekayasa jaringan, pembalut luka, dan sistem pengiriman obat. Nanoselulosa memiliki sifat biokompatibilitas yang sangat baik, yang membuatnya aman digunakan dalam tubuh manusia. Selain itu, sifatnya yang *biodegradabel* memastikan bahwa material ini dapat terurai dengan aman setelah penggunaannya dalam aplikasi medis (Yang et al., 2025).

a. Salah satu aplikasi medis utama dari nanoselulosa adalah dalam pembuatan *scaffold* untuk pertumbuhan sel dan jaringan dalam rekayasa jaringan. *Scaffold* ini dapat digunakan untuk menggantikan jaringan yang rusak atau hilang dalam tubuh, dengan memberikan kerangka yang mendukung pertumbuhan sel baru, merekonstruksi kembali tulang dan tulang rawan, serta mempercepat penyembuhan luka dengan rasa tidak nyaman yang minimal adalah tujuan dari teknologi rekayasa jaringan. Teknologi ini juga disukai untuk mengembangkan terapi baru dan untuk memperbaiki serta meremajakan jaringan dan organ yang rusak. Oleh karena itu, bahan berbasis CNC (*Cellulose Nanocrystals*) sangat diminati dalam penelitian teknologi rekayasa jaringan karena memenuhi berbagai persyaratan penting: Meningkatkan perlekatan dan pembelahan sel, Memiliki sifat mekanik yang lebih baik, Kemampuan menahan air, Permeabilitas terhadap air, Dapat terurai secara alami (*biodegradable*), Mendukung pertumbuhan berkelanjutan. (Abitbol et al., 2016) Pencetakan 3D merupakan satu-satunya teknik yang dilaporkan menggunakan Oil Palm Fiber untuk rekayasa jaringan. Material ini juga menunjukkan kemampuan untuk digunakan dalam rekayasa jaringan karena sifat biokompatibilitasnya. Athukoralalage dkk. mendokumentasikan penggunaan hidrogel nanoselulosa hasil bioprinting 3D untuk rekayasa jaringan. Hidrogel dalam penelitian tersebut berhasil dievaluasi untuk Viabilitas sel mamalia, Implementasi rekayasa jaringan. Hasil cetakan 3D memiliki akurasi yang lebih baik, resolusi yang lebih tinggi. (Athukoralalage et al., 2019; Babu et al., 2023).

b. Nanoselulosa juga dapat digunakan dalam pembuatan pembalut luka. Pembalut luka berbasis selulosa semakin populer dalam pengobatan regeneratif karena meniru sifat matriks ekstraseluler dan lebih unggul daripada graft atau jaringan kulit alogenik. *Scaffold* serat nano hasil elektrospinning memiliki kelebihan: Porositas tinggi yang mampu menyerap cairan luka berlebih dan mencegah infiltrasi mikroba, Kemampuan luar biasa dalam hal perlekatan sel, perkembangbiakan sel, pergerakan sel, dan diferensiasi sel, Luas permukaan besar yang ideal untuk pembebanan dan pemberian obat, Permeabilitas oksigen yang baik hingga mencapai area luka, Transfer uap air yang menjaga kelembaban optimal untuk penyembuhan luka. Namun, beberapa *scaffold* konvensional dapat menyebabkan jaringan yang rusak atau bahkan infeksi yang buruk dengan jaringan inang, sehingga *scaffold* 3D lebih disukai. Selain itu sifat antibakteri dan kemampuan menyerap cairan dari luka dapat membantu mempercepat proses penyembuhan luka. (Silva et al., 2023)



dapat dimodifikasi untuk digunakan dalam sistem penghantar obat. Di TKKS telah banyak dipelajari sebagai material penghantar obat karena kemampuannya mengontrol pelepasan obat, meningkatkan kelarutan dan

stabilitas, serta mengurangi eliminasi obat. CNC memiliki sifat unggul seperti muatan permukaan negatif, rasio luas permukaan volume tinggi, dan stabilitas dispersi koloid. Adanya gugus hidroksil memungkinkan modifikasi kimiawi untuk meningkatkan kapasitas pengikatan obat, baik bermuatan maupun netral, serta memfasilitasi pelepasan bertahap dan pengiriman gen yang tertarget. Kemampuan untuk menahan dan melepaskan obat secara terkendali menjadikan nanoselulosa sebagai bahan yang sangat baik untuk aplikasi pengobatan, seperti dalam penghantaran obat kanker atau obat anti-inflamasi secara langsung ke lokasi yang dibutuhkan. (Babu et al., 2023)

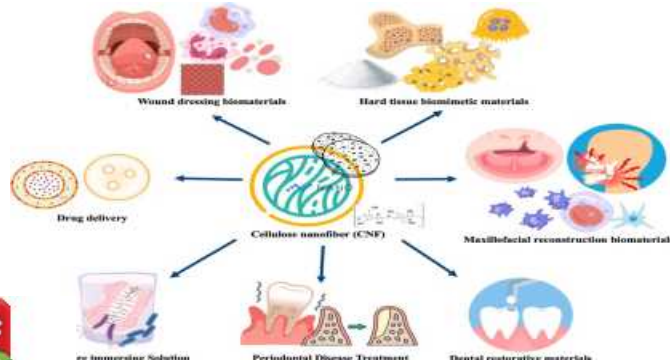
3. Aplikasi Pengolahan Air

Nanoselulosa juga memiliki potensi dalam pengolahan air, khususnya dalam proses filtrasi dan penghilangan polutan dari air. Sifat permukaan nanoselulosa yang sangat besar memungkinkan material ini digunakan sebagai adsorben yang efektif untuk menghilangkan logam berat, mikroorganisme, dan polutan organik dari air. Selain itu, nanoselulosa memiliki kemampuan untuk disesuaikan dengan berbagai jenis media, baik itu air tawar maupun air limbah, menjadikannya bahan yang sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi pengolahan air. Sebagai contoh, nanoselulosa dapat digunakan dalam pembuatan membran filtrasi untuk menghilangkan kotoran dan patogen dari air minum. Selain itu, nanoselulosa dapat digunakan dalam pembuatan sistem penyaringan air untuk mengurangi pencemaran dan meningkatkan kualitas air yang digunakan dalam industri atau kebutuhan domestik. (Silva et al., 2016)

4. Aplikasi Lainnya

Nanoselulosa dari TKKS juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi lainnya, seperti dalam pembuatan bahan kemasan yang ramah lingkungan, material untuk pencetakan 3D, dan dalam industri energi terbarukan. Nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk memproduksi film *biodegradable* yang dapat menggantikan plastik sekali pakai, memberikan solusi untuk masalah limbah plastik yang semakin meningkat (Padzil et al., 2020; Silva et al., 2016)

1.2.8.5 Pemanfaatan nanoselulosa dalam kedokteran gigi



r 1.4 Potensi aplikasi nanoselulosa dalam kedokteran gigi



Tabel 1.2 Potensi aplikasi nanoselulosa dalam kedokteran gigi.

Judul Penelitian, Nama Penulis Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Potensi penggunaan di KG	kesimpulan
<i>Nanofibrillated Cellulose-Based Aerogels Functionalized with Tajuva (Maclura tinctoria) Heartwood Extract</i> (Coldebella et al., 2021) ¹	Potensi aerogel berbasis NFC untuk aplikasi sebagai pembalut luka.	Memproduksi dan Mengkarakterisasi Aerogel Berbasis Selulosa Nanofibrilasi nanofibrillated (NFC) yang berasal dari ekstrak inti kayu Tajuva (<i>Maclura tinctoria</i>), menilai potensinya untuk aplikasi pembalut luka.	Wound dressing	-Aerogel berbasis NFC dengan sifat yang diinginkan seperti porositas tinggi, kepadatan rendah, kekuatan mekanik yang baik, -Aerogel menunjukkan aktivitas antibakteri, antioksidan yang baik dan persentase penghambatan, penyerapan air yang signifikan, yang menjanjikan untuk aplikasi pembalut luka.
<i>Impact of nano-cellulose fiber addition on physico-mechanical properties of room temperature vulcanized maxillofacial silicone material</i>	Mengevaluasi penambahan selulosa nanofiber (CNF) pada sifat fisiko-mekanis elastomer silikon maksilofasial	Metode untuk Menilai mekanik dan fisik Silikon Maksilofasial.	Bahan restorasi Maxillofacial	-Meningkatkan sifat mekanis (kekuatan sobek dan tarik, persentase elongasi). -CNF meningkatkan kekerasan dan kekasaran permukaan silikon dengan sebanding lurus dengan konsentrasi CNF.
Ali et al., 2023 (Ali et al., 2020) <i>Effects of Powdery Cellulose Nanofiber Addition</i>	Mengevaluasi penambahan serat nano selulosa bubuk (CNF) mempengaruhi sifat mekanik resin ionomer kaca (GIC) dan memastikan sifat kimianya tidak berubah	- <i>Flexural strength</i> - <i>Compressive strength</i> - <i>Diametral tensile strength</i> , - <i>Ion release property</i>	Bahan restorasi gigi	- Penggabungan CNF secara signifikan meningkatkan <i>flexural</i> , <i>compressive</i> , dan <i>diametral tensile strengths</i> GIC. - Tidak ada perbedaan signifikan dalam sifat pelepasan ion fluorida yang diamati antara GIC kontrol dan komposit CNF-GIC



<i>High-intensity ultrasound-assisted formation of cellulose nanofiber scaffold with low and high lignin content and their cytocompatibility with gingival fibroblast cells</i> (Huerta et al., 2020) (Huerta et al., 2020)	Mengevaluasi <i>scaffold</i> untuk potensi penggunaannya dalam aplikasi biomedis, khususnya untuk proliferasi sel fibroblas gingiva	Produksi hidrogel selulosa nanofiber (CNF) dengan berbagai kandungan lignin (lignin rendah (LL-CNF) pada 8% dan lignin tinggi (HL-CNF) pada 18%) menggunakan teknologi ultrasound intensitas tinggi (HIUS) dengan menilai : -Sifat viskoelastik -Porositas -Swelling property -Sitotoksitas	Perawatan Periodontal	HIUS adalah metode yang efektif untuk memproduksi scaffold CNF dengan kandungan lignin residu rendah dan tinggi.scaffold, memiliki lignin hingga 18%, menunjukkan potensi untuk aplikasi biomedis, terutama dalam terapi periodontal regeneratif, karena sitokompatibilitas dan kemampuannya yang sangat baik untuk mendukung pertumbuhan sel tanpa modifikasi permukaannya - <i>scaffold Lignin-CNF</i> tidak beracun dan menginduksi viabilitas dan proliferasi sel gingiva manusia yang lebih tinggi daripada kontrol.
<i>Use of cellulose nanofibers as a denture immersing solution</i> (Zou et al., 2020) (Zou et al., 2022)	Mengevaluasi potensi solusi serat nano selulosa (CNF) sebagai solusi perendaman gigi palsu, dengan fokus pada dampaknya pada sifat mekanik dan biologis resin dasar gigi palsu	Perendaman larutan CNF yang berasal dari bambu (CNF-BB) dan daun (CNF-NB) terhadap basis gigi tiruan dan Mengevaluasi sifat lentur, sitotoksitas, antimikroba	Larutan pembersih gigi tiruan	-Tidak ada efek sitotoksik atau antimikroba yang diamati untuk larutan CNF. -Spesimen dalam kelompok CNF-NB-C dan CNF-BB-A menunjukkan nilai <i>modulus fexural</i> yang lebih tinggi.
<i>Effect of</i> 	Mengevaluasi efek konsentrasi CNF pada sifat mekanik bahan lasar gigi tiruan PMMA	Pengujian mekanis kekuatan lentur dan modulus	Bahan penguat akrilik	Menggabungkan nanofiber selulosa pada PMMA signifikan meningkatkan kekuatan lentur dan modulus bahan dasar gigi tiruan PMMA termoplastik yang disiapkan melalui

<i>molded, polymethyl methacrylate denture base material</i> (Kawaguchi et al., 2020) (Kawaguchi et al., 2020)					cetakan injeksi. CNF dapat berfungsi sebagai agen penguat yang efektif, berpotensi sebagai bahan dasar gigi palsu yang lebih tahan lama.
<i>Therapeutic effects of antibiotics loaded cellulose nanofiber and κ-carrageenan oligosaccharide composite hydrogels for periodontitis treatment</i>	Evaluasi hidrogel yang terdiri dari nanopartikel nanofiber selulosa (CNF) dan κ-carrageenan oligosakarida (CO) untuk pengobatan periodontitis.	Sifat bahan dan keefektifan terhadap patogen periodontal utama dan kondisi inflamasi	<i>Drug delivery</i>	Berhasil mengembangkan hidrogel komposit oligosakarida selulosa nanofiber dan κ-carrageenan dengan surfactin dan Herbmecdotin. Hidrogel ini menunjukkan sifat antibakteri, anti-inflamasi, dan antioksidan yang potensial untuk pengobatan periodontitis.	
<i>Anti-Acid Biomimetic Dentine Remineralization Using Inorganic Silica Stabilized Nanoparticles Distributed Electronspun Nanofibrous Mats</i> (Liu et al., 2021) (Liu et al., 2021)	Membuat bahan nano selulosa (Si/Ca (Sr) -NCF). Bahan ini dirancang untuk melepaskan nanopartikel presipitasi bersama silika/kalsium (strontium) karbonat tahan asam)	Remineralisasi Dentin Menggunakan Si/Ca (Sr) -NCF dengan pengujian setelah pemberian di dentin, setelah ada asam, dan setelah remineralisasi dalam air liur buatan dan mengevaluasi antibakteri dan sitokompatibilitas	Biobimetik	Si/Ca (Sr) -NCF, terutama dengan konsentrasi Sr ²⁺ berhasil mencapai remineralisasi biomimetik dentin tahan asam, bakteriostatik, dan sitotoksik rendah dan bahan ini menjanjikan untuk perawatan permukaan dentin terbuka yang dan hipersensitivitas dentin	

Sumber : Yang K, Nugraha AP, Chen J, Yang H, Wang J, Sáenz JRV, Hong G. 2025. Utilization of cellulose applications: A systematic review of in vitro evidence. Jpn Dent Sci Rev. 61:106-120. 05.002.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ah

akang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini:
garuh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit
o *fracture strength* mahkota resin akrilik polimerisasi panas?

2. Bagaimana pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas?
3. Berapakah konsentrasi yang paling efektif digunakan pada penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* dan tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas?

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* dan tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* mahkota resin akrilik polimerisasi panas.
2. Menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.
3. Menganalisis konsentrasi yang paling efektif digunakan pada penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* dan tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material kedokteran gigi, khususnya dalam pemanfaatan nanoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan penguat pada resin akrilik polimerisasi panas.
2. Penelitian ini dapat memperkaya kajian tentang nanoteknologi dalam bidang kedokteran gigi, khususnya terkait dengan pengaruh nanoselulosa terhadap peningkatan sifat mekanik *fracture strength* resin akrilik polimerisasi panas.
3. Penelitian ini juga diharapkan dapat mengembangkan pengetahuan terkait penggunaan limbah biomassa, khususnya TKKS, sebagai sumber bahan baku yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam produksi material kedokteran gigi. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan dasar teori yang lebih kuat untuk penelitian selanjutnya yang berfokus pada aplikasi nanoselulosa di berbagai bidang medis, termasuk prostodonsia dan restorasi gigi.

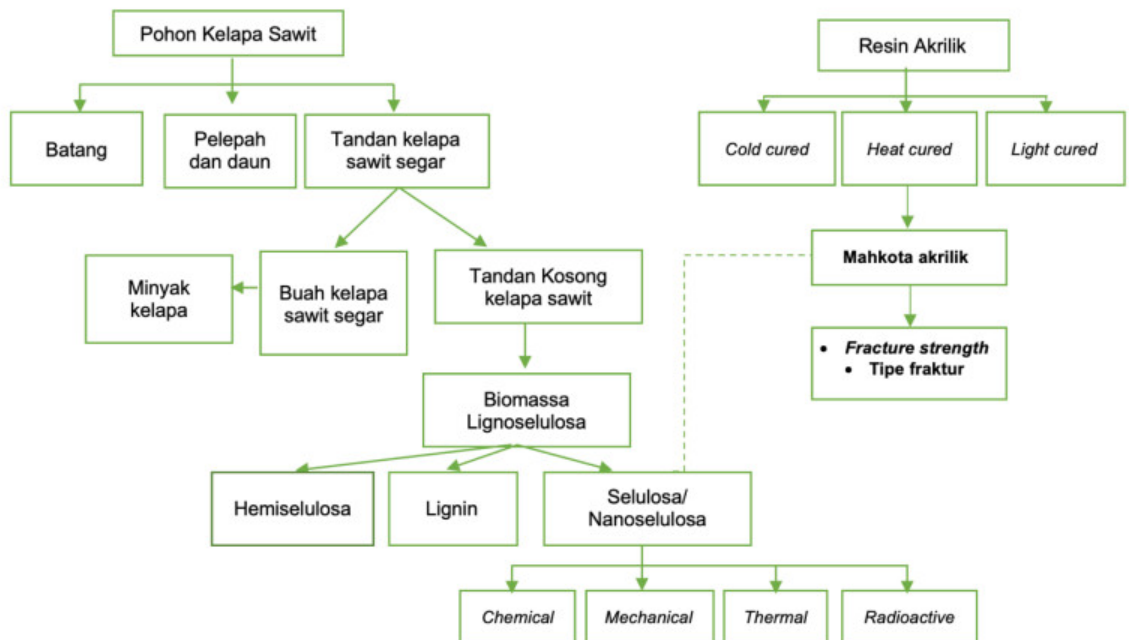
1.5.2 Manfaat Kepada Masyarakat

1. Penelitian ini dapat memberikan manfaat langsung kepada masyarakat, terutama terkait kualitas perawatan gigi melalui penggunaan material restorasi tahan lama. Dengan peningkatan kekuatan mekanik resin akrilik dengan penambahan nanoselulosa, restorasi gigi, baik itu mahkota provisoris maupun permanen, dapat memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap tekanan dan juga mengurangi frekuensi perbaikan atau penggantian yang sering.



2. Penggunaan nanoselulosa yang berasal dari limbah kelapa sawit dapat mengurangi jumlah limbah industri kelapa sawit yang tidak terkelola dengan baik, memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan perekonomian lokal. Dengan memanfaatkan limbah kelapa sawit, yang merupakan sumber daya yang melimpah, penelitian ini dapat membuka peluang untuk pengembangan industri yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta menciptakan produk yang lebih terjangkau dan efisien di bidang kedokteran gigi.

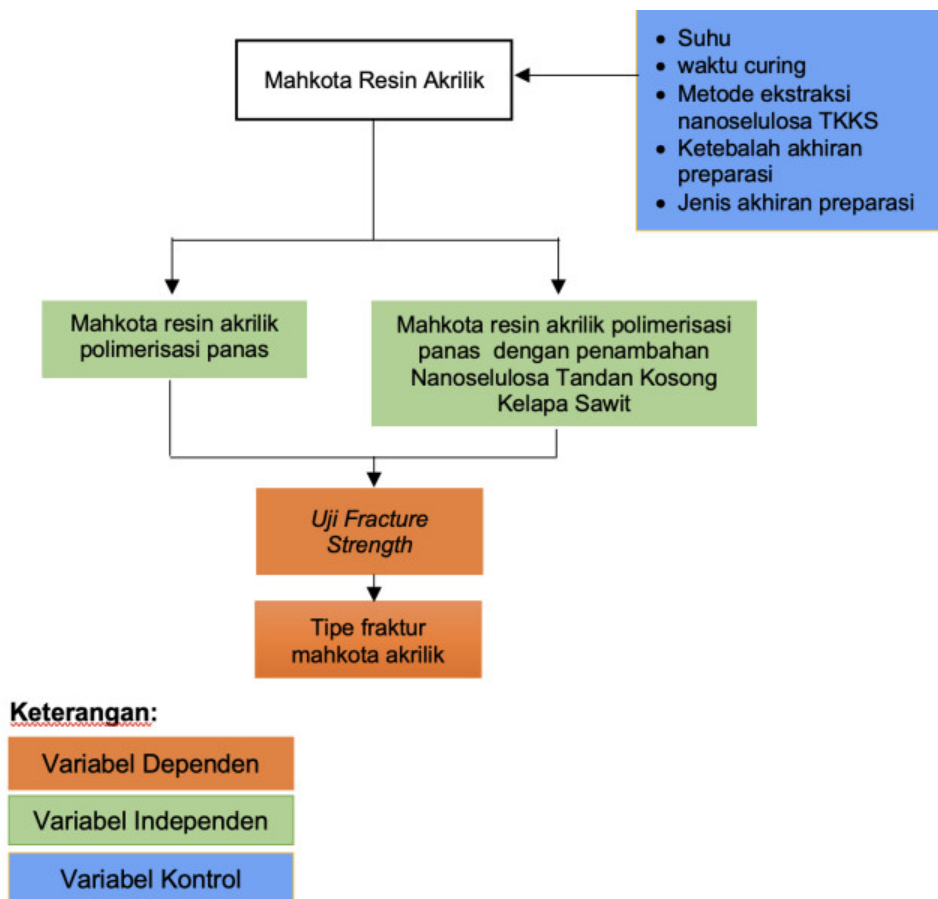
1.6 Kerangka Teori



Gambar 1.3 Kerangka Teori



1.7 Kerangka Konsep



Gambar 1.4 Kerangka Konsep

1.8 Hipotesis Penelitian

1.8.1 Hipotesis Mayor

Terdapat pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* dan tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.

1.8.2 Hipotesis Minor

1. Terdapat pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* mahkota resin akrilik polimerisasi panas.
2. Terdapat pengaruh penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.
3. Terdapat perbedaan signifikan konsentrasi yang paling efektif digunakan penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit terhadap *fracture strength* mahkota resin akrilik polimerisasi panas.



BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris. Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan dengan *the post-test only control group design*, yaitu kelompok yang diberi perlakuan dan kelompok kontrol kemudian di lakukan observasi.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai Oktober 2025. Penelitian ini dilakukan di:

1. Laboratorium Kimia, Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang untuk pembuatan nanoselulosa serat tandan kosong kelapa sawit, pemeriksaan SEM.
2. Laboratorium Farmaseutika, Fakultas Farmasi Universitas Almarisah Madani untuk homogenisasi polimer dan nanoselulosa.
3. Laboratorium Dental RSGM Universitas Hasanuddin untuk pembuatan sampel mahkota resin akrilik polimerisasi panas.
4. Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk menguji *fracture strength* dan tipe fraktur mahkota resin akrilik polimerisasi panas.

2.3 Sampel Penelitian

Kriteria sampel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Kriteria inklusi:

1. Mahkota resin akrilik polimerisasi panas dengan penambahan nanoselulosa dan mahkota resin akrilik polimerisasi panas konvensional.
2. Restorasi mahkota resin akrilik polimerisasi panas dengan ketebalan akhiran preparasi 1 mm dan chamfer.

Kriteria eksklusi:

1. Mahkota resin akrilik mengalami cacat, retak, atau kerusakan struktural selama atau setelah proses fabrikasi, seperti *chipping*, distorsi, atau rusak pada permukaannya.
2. Sampel dengan dimensi tidak seragam.

Besaran sampel penelitian yang digunakan dihitung menggunakan rumus Federer. Rumus Federer digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan atau jumlah sampel penelitian agar data yang diperoleh valid. Rumus Federer adalah sebagai berikut:

Keterangan:

n = besar sampel tiap kelompok

k = banyak kelompok, jumlah intervensi atau pengamatan.

k = 7 kelompok perlakuan

pel tiap kelompok :

$$(n-1) (7-1) \geq 15$$

$$(n-1) (6) \geq 15$$

$$6n-6 \geq 15$$

$$6n \geq 21$$



$$n \geq 3,5$$

$$n = 4$$

Dari perhitungan rumus Federer didapatkan jumlah 4 sampel untuk setiap kelompok perlakuan. Jumlah kelompok perlakuan ada 7 sehingga didapatkan jumlah keseluruhan sampel dalam penelitian ini adalah 28.

2.4 Variabel Penelitian

- Variabel Independen: Mahkota resin akrilik dengan penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit dan mahkota resin akrilik polimerisasi panas
- Variabel Dependen: *Fracture strength* dan tipe fraktur mahkota akrilik polimerisasi panas
- Variabel Kontrol: Suhu, waktu *curing*, metode ekstraksi nanoselulosa TKKS, Tebal akhiran preparasi dan jenis akhiran preparasi.

2.5 Definisi Operasional Variabel

Tabel 2.1 Definisi Operasional Variabel

No	Variabel Penelitian	Definisi operasional	Cara Mengukur	Alat Ukur	Skala Penelitian
1	Penambahan nanoselulosa tandan kosong kelapa sawit	Penambahan nanoselulosa yang diekstraksi dari tandan kosong kelapa sawit ke dalam resin akrilik polimerisasi panas pada konsentrasi 1%,2%,3%,5%,7% dan 10%	Ditentukan melalui konsentrasi (persentase berat nanoselulosa) yang ditambahkan dalam campuran resin akrilik.	Timbangan analitik digital	Rasio
2	<i>Fracture Strength</i>	Kemampuan mahkota resin akrilik dalam menahan beban atau tekanan yang menyebabkan terjadinya fraktur atau kerusakan.	Uji <i>fracture strength</i> diukur dalam satuan newton (N)	<i>Universal Testing Machine</i> (UTM) Shimadzu, Autograph AGS-50kNX Series	Rasio
		Menilai kerusakan pada mahkota resin akrilik akibat fraktur	Dilakukan inspeksi fraktur secara langsung	Kriteria klasifikasi burke	Nominal
		Material resin akrilik polimerisasi panas yang digunakan	Dipastikan dengan menggunakan	Identifikasi spesifikasi	Nominal



	polimerisasi panas	sebagai bahan tetap untuk membuat mahkota.	jenis resin akrilik polimerisasi panas yang sama untuk seluruh sampel.	produk resin akrilik	
5	Suhu	Tingkat panas (dalam satuan °C) pada material crown resin akrilik sesuai rekomendasi manufaktur (resin akrilik: 70–100°C) selama proses polimerisasi panas untuk mencapai sifat fisik optimal	Dikontrol dan dipastikan sesuai standar untuk semua sampel penelitian	Termometer digital	Interval
6	Waktu <i>curing</i>	Durasi yang diperlukan untuk polimerisasi panas material akrilik crown gigi pada suhu tertentu hingga mencapai sifat fisik optimal	Dikontrol sesuai standar dengan mencatat waktu awal saat pemanasan dan menghentikan proses <i>curing</i> pada waktu ditentukan (berdasarkan manufaktur)	Timer/stop watch	Rasio
7	Metode Ekstraksi	Metode ekstraksi nanoselulosa TKKS yaitu delignifikasi, <i>bleaching</i> , hidrolisis asam untuk memperoleh nanoselulosa yang konsisten dalam ukuran dan sifatnya.	Menggunakan metode ekstraksi yang sama pada semua nanoselulosa yang digunakan dalam penelitian.	Panduan metode ekstraksi baku	Nominal
8	Tebal akhiran preparasi	Ketebalan 1 mm akhiran preparasi restorasi mahkota	Menggunakan pengukuran dengan aplikasi CAD/CAM	Aplikasi CAD/CAM	Rasio
		Bentuk akhiran preparasi chamfer pada <i>die</i> yang direstorasi dengan mahkota akrilik	desain dengan aplikasi CAD/CAM	Aplikasi CAD/CAM	Ordinal



2.6. Alat dan Bahan Penelitian

A. Alat Penelitian

- *Dentiform brass die model*
- *Milling machine* (ROLAND dwx-52D)
- *Scanner desktop* (Up3D 560)
- *Universal Testing Machine* (UTM type Shimadzu, Autograph AGS-50kNx Series)
- *Durometer Shore D*
- Oven
- Wadah plastik
- *Stopwatch*
- Penggaris
- Pinset
- Gelas kimia
- *Hot plate*
- *Magnetic stirrer*
- Desikator
- timbangan elektronik (Sartorius, Germany)
- Kertas saring
- Spatula
- Termometer
- *Water bath*
- Pipet ukur
- Pipet tetes
- Buret
- Cawan
- *Ultrasonic bath*
- *Scanning electron microscopy* (SEM)
- Kuvet
- *Rubber bowl*
- *Spatel*
- Kuas
- Gunting
- *Hydraulic bench press*
- Lempengan logam
- Gelas ukur
- Sendok takar
- Gelas keramik bertutup
- Sduit



s steel

in

, kelapa sawit (TKKS)

asial (CH_3COOH)

hidrida (CH_3CO)₂O

- NaOCl
- HCl
- N hexana
- Aquadest
- Indikator PP
- Metanol
- Etanol
- Gypsum tipe 2
- CMS
- Vaseline
- Kertas selofan
- Air
- Polimer resin *heat cured*
- Monomer resin *heat cured*

2.7 Prosedur Penelitian

2.7.1 Pembuatan nanoselulosa TKKS

1. Pembuatan serat TKKS

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang didapatkan dari perkebunan sawit daerah Mamuju, Sulawesi Barat. TKKS dipotong dan diambil seratnya. Kemudian dibersihkan dari pengotor dengan air. Serat yang sudah bersih kemudian dikeringkan selama 3 hari. Serat TKKS yang sudah kering dihaluskan dengan digiling untuk memperkecil ukuran serat. Selanjutnya serat diayak menggunakan ayakan 150 mesh untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil dan seragam. Kemudian dilakukan ekstraksi Soxhlet untuk mengeluarkan minyak pada TKKS sehingga mendapatkan zat organik dengan menggunakan pelarut n-hexana. Ekstrak yang dihasilkan kemudian dipanaskan pada suhu 70°C untuk menghilangkan sisa pelarut.

2. Proses ekstraksi selulosa

Proses ekstraksi selulosa dua tahapan utama, yaitu delignifikasi dan *bleaching*

- a. Delignifikasi bertujuan untuk menghilangkan lignin yang terikat pada serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Proses ini menggunakan larutan alkali untuk dapat menghilangkan lignin, hemiselulosa, dan holoselulosa, sementara selulosa tetap utuh, memperbesar permukaan selulosa, dan mengubah struktur serat dengan memutuskan ikatan intramolekul untuk mempermudah difusi reagen ke dalam serat. Proses delignifikasi sebanyak 50 gram TKKS ditambahkan ke dalam 500 mL larutan NaOH 17,5% (1:10) w/v, kemudian sampel di refluks pada suhu 80°C selama 2 jam. Endapan hasil filtrasi disaring



an kertas saring dan residu yang diperoleh merupakan selulosa. cuci menggunakan aquadest hingga pengotor pada permukaan nudian Keringkan endapan pada suhu 60°C selama 24 jam an oven dan disaring.

aching bertujuan untuk menghilangkan pigmen dan sisa lignin. menghasilkan selulosa dengan tingkat kecerahan yang tinggi.

aching dengan larutan 250 mL NaOCl 2 wt% pada suhu 70°C

selama 1 jam. Kemudian, ekstrak selulosa yang diperoleh disaring, dicuci dan pH filtrat netral.

3. Sintesis Nanoselulosa

Nanoselulosa disintesis dengan menggunakan hidrolisis asam menggunakan HCl dengan perbandingan selulosa 1:60 HCl (g/ml) dimasukkan ke dalam wadah ultrasonik SU-27 TH dengan kapasitas 477(W) × 272(D) × 200(H) mm, frekuensi 28 kHz, dengan 45°C selama 45 menit. Ketika suspensi berubah menjadi kuning gelap, larutan dinetralkan dengan aquades untuk menghentikan reaksi hidrolisis, kemudian disentrifugasi selama 10 menit pada 10.000 rpm. Setelah dibiarkan mengendap selama beberapa jam. Terlihat suspensi pada bagian atas yang jernih. Bagian atas yang jernih tersebut dipisahkan, sementara larutan yang tersisa dibilas berulang kali dengan air destilasi hingga tidak lagi terbentuk lapisan. Suspensi nanoselulosa kemudian di oven *drying* untuk menghasilkan serbuk nanoselulosa.

4. Karakteristik nanoselulos TKKS dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk memeriksa morfologi dan ukuran partikel nanoselulosa. Selanjutnya pembuatan sampel.

2.7.2 Pembuatan Sampel

1. Pembuatan *die* metal: *die* sebagai gigi penyangga yang didesain melalui software exocad. *die typodont* didesain menyerupai abutmen gigi molar menggunakan prinsip preparasi gigi dengan akhiran preparasi chamfer dengan ketebalan 1 mm dengan sudut taper 6° dinding aksial dan tinggi 5,5 mm. sudut garis servikal dan oklusal abutmen dibulatkan. Diameternya 6mm dan 7mm (gambar 2.1). Setelah dilakukan desain model *die*. Detntiform block metal dimasukkan kedalam alat *milling machine* (ROLAND dwx-52D). titanium *die* siap digunakan sebagai abutmen mahkota resin akrilik heat cured.



Gambar 2.1 Die metal tahan karat dibuat dengan bentuk silindris dan margin chamfer



Desain restorasi mahkota molar pertama RB secara anatomis dengan Exocad dengan ketebalan material 1,5 mm pada permukaan (gambar 2.2). Dari desain restorasi mahkota selanjutnya dibuat wax menggunakan mesin milling. Mahkota yang dibuat dengan metode ini bertujuan untuk mahkota memiliki dimensi yang sama. *Die* dan wax akan dalam *flasking* dan dihilangkan wax untuk membuat mould



Gambar 2. 2a. Desain mahkota akrilik dengan EXOCAD, b. Mahkota dari bahan wax, c. Mahkota resin akrilik polimerisasi panas.

Sampel dibagi menjadi 7 kelompok perlakuan:

- F1 kelompok kontrol yaitu mahkota akrilik polimerisasi panas tanpa penambahan nanoselulosa
- F2, F3, F4, F5, F6 dan F7 adalah kelompok perlakuan mahkota akrilik polimerisasi panas dengan nanoselulosa TKKS pada konsentrasi 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, dan 10%. Pembuatan satu mahkota dilakukan menggunakan rasio polimer : monomer 2,3 g : 1 ml, sesuai dengan instruksi pabrik DPI Stellan *Heat Cure*, yaitu 23 g bubuk polimer untuk 10 ml cairan monomer. Pengukuran dilakukan dengan timbangan elektronik (Sartorius, Germany) dengan tingkat presisi 0.0001 gram.

Tabel 2.2 Rancangan formula untuk satu mahkota resin akrilik dengan penambahan nanoselulosa TKKS

Kelompok	Konsentrasi Nanoselulosa	Nano (g)	Polimer (g)	Monomer (ml)	Total Padat (g)
F1	0% (kontrol)	0.00	2.30	1.00	2.30
F2	1%	0.01	2.29 (= 2.30 – 0.01)	1.00	2.30
F3	2%	0.02	2.28 (= 2.30 – 0.02)	1.00	2.30
F4	3%	0.03	2.27 (= 2.30 – 0.03)	1.00	2.30
F5	5%	0.05	2.25 (= 2.30 – 0.05)	1.00	2.30
F6	7%	0.07	2.23 (= 2.30 – 0.07)	1.00	2.30
F7	10%	0.10	2.20 (= 2.30 – 0.10)	1.00	2.30



del dibuat dengan mencampurkan bubuk polimer dan rasio ng konsentrasi yang sudah ditentukan menggunakan probe niser (120W, 60KHz). Lalu dipindahkan ke *mixing jar* kemudian gan monomer sesuai ketentuan pabrik. *Mixing jar* ditutup hingga ough kemudian bahan tersebut dimasukkan ke *mould*. Kuvet ditutup ah tekanan *intermitten* sampai semua bahan berlebih dihilangkan.

Kemudian lakukan proses polimerisasi menggunakan waterbath pada suhu 70°C selama 2 jam dan lanjutkan pada suhu 100°C selama 30 menit. Kuvet dibiarkan dingin selama 30 menit. Setelah mencapai suhu kamar, sampel dikeluarkan dan buang resin berlebih dipoles dengan kertas silikon carbid 400 dan 600 grit.

4. Pembuatan saliva buatan dengan mencampurkan NaCl: 0.400 g/L, KCl: 0.400 g/L, CaCl₂.2H₂O: 0.906 g/L, NaH₂PO₄.2H₂O: 0.690 g/L, Na₂S.9H₂O: 0.005 g/L, Urea: 1.000 g/L. larutkan semua bahan dalam aquadest dalam gelas kimia hingga homogen. Ukur pH larutan 6,7-7,0. Simpan dalam wadah tertutup dan letakkan pada inkubator pada suhu 37°C sebelum digunakan untuk menstimulasi suhu intraoral.
5. Masukkan setiap sampel ke dalam wadah tertutup yang berisi saliva buatan dengan volume yang cukup, tempatkan wadah dalam inkubator yang dijaga konstan pada suhu 37°C ± 1°C untuk mensimulasikan kondisi rongga mulut dalam 7 hari selanjutnya dilakukan uji *Fracture Strength*.

2.7.3 Pengujian *Fracture Strength*

Pengujian *fracture strength* dilakukan untuk menilai ketahanan sampel terhadap beban fraktur menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Permukaan oklusal sampel dibebani dengan ditempatkan sebuah logam yang ujungnya berbentuk bola diameter 5 mm untuk menyentuh pusat mahkota pada sumbu vertikal pada kecepatan alat diatur ke 0,5 mm/menit hingga terjadi fraktur ditentukan pada bunyi retak pertama yang terdengar dan dikonfirmasi oleh penurunan kurva pada komputer. Gaya maksimum saat fraktur dicatat dalam Newton (N).

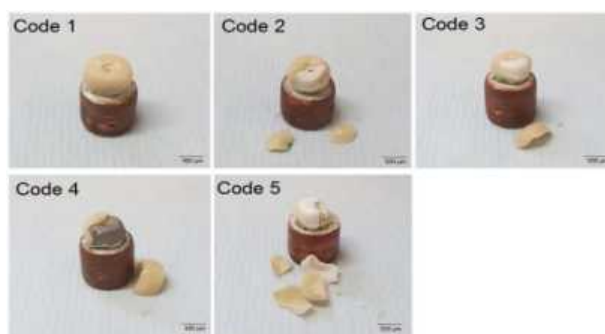


Gambar 2. 3 Alat uji *fracture strength* menggunakan Shimadzu, Autograph AGS-50kNx Series



fraktur

Fracture strength, sampel diperiksa secara mikroskopis menggunakan mikroskop untuk memeriksa kerusakan atau retakan dari permukaan oklusal. Jenis fraktur atau tipe fraktur sampel kemudian diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Burke.



Gambar 2. 4 Klasifikasi fraktur mahkota gigi berdasarkan klasifikasi Burke

Tabel 2.3 Klasifikasi fraktur mahkota gigi berdasarkan klasifikasi Burke

Tipe fraktur	Deskripsi
I	Minimal fraktur atau Retak pada mahkota
II	Kurang dari setengah mahkota hilang
III	Mahkota gigi patah di garis tengah, setengah mahkota hilang atau keluar dari posisinya
IV	Lebih dari setengah mahkota gigi hilang
V	Mahkota fraktur parah

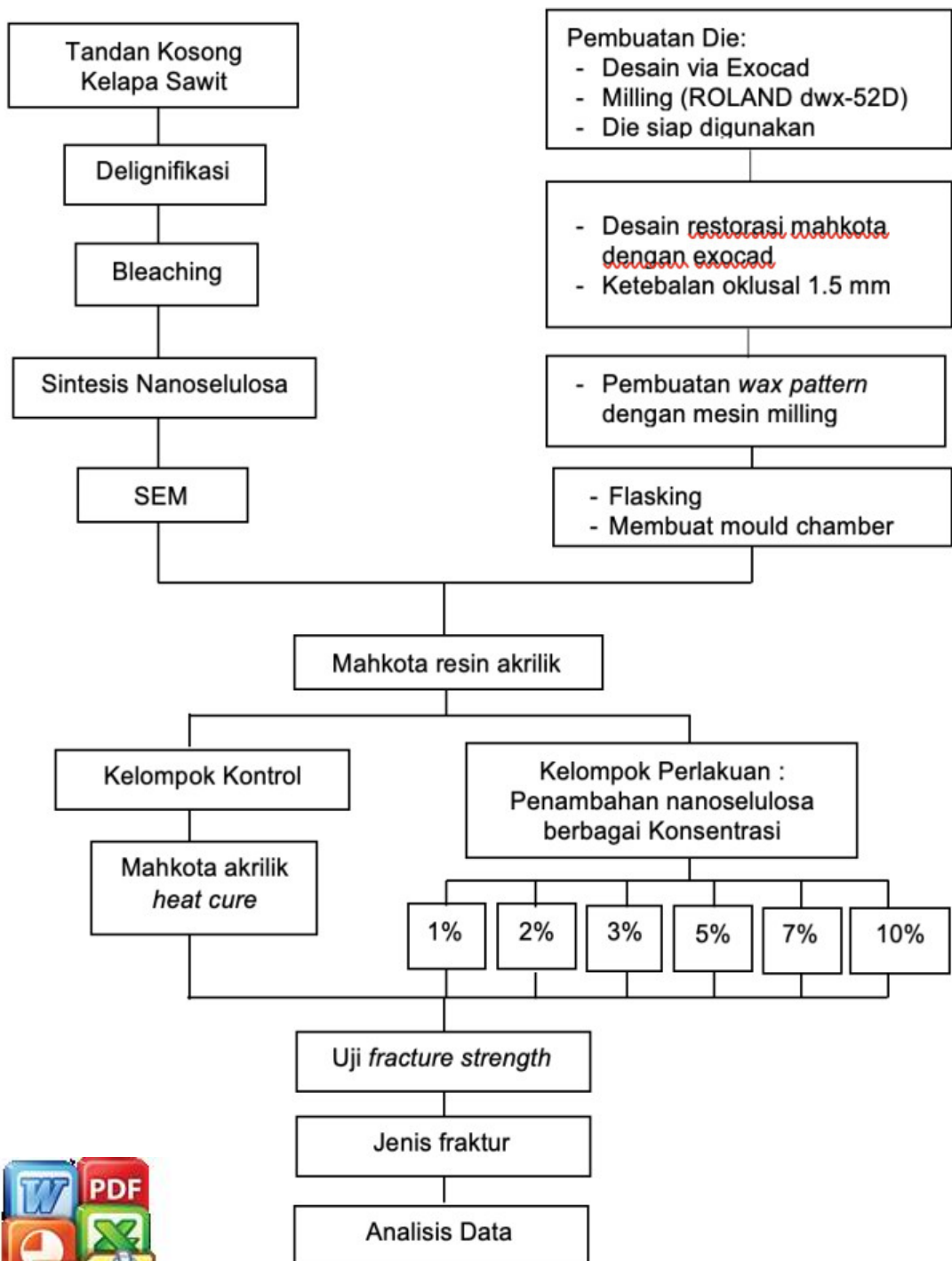
2.8 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara statistik dengan langkah-langkah berikut: pertama, uji *Shapiro-Wilk* digunakan untuk menguji normalitas distribusi data, mengingat jumlah sampel pengamatan kurang dari 50. Jika hasil uji menunjukkan nilai $p > 0,05$, maka data dianggap terdistribusi normal. Selanjutnya, uji *Levene* digunakan untuk menguji homogenitas varians antar kelompok. Jika data terdistribusi normal ($p > 0,05$), maka dilanjutkan dengan *One-Way ANOVA* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan bermakna antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dilakukan uji *post-hoc Tukey's HSD* untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Selanjutnya, uji korelasi Pearson atau Spearman digunakan untuk mengetahui adanya hubungan antara konsentrasi nanoselulosa dan kekuatan mekanik resin akrilik. Hasil analisis akan dinyatakan signifikan jika nilai $p < 0,05$, yang menunjukkan bahwa ada perbedaan yang bermakna antar kelompok atau hubungan antar variabel yang diuji.

Jenis Data : Data primer
 Pengolahan data : IBM SPSS statistics V.27
 Penyajian data : Dalam bentuk tabel dan diagram



2.9 Alur Penelitian



Gambar 2.5 Alur penelitian

